

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①⑪ N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 761 526

②① N° d'enregistrement national : 97 15079

⑤① Int Cl<sup>6</sup> : H 01 L 21/324, H 01 L 21/306

①②

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 01.12.97.

③① Priorité : 31.03.97 JP 08093997.

④③ Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 02.10.98 Bulletin 98/40.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été  
établi à la date de publication de la demande.*

⑥① Références à d'autres documents nationaux  
apparentés : Division demandée le 15/05/98 béné-  
ficiant de la date de dépôt du 01/12/97 de la  
demande initiale n° 97 15079.

⑦① Demandeur(s) : MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI  
KAISHA KABUSHIKI KAISHA — JP.

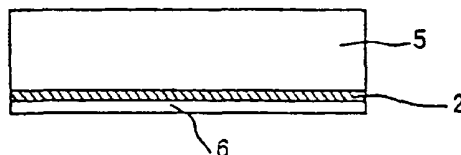
⑦② Inventeur(s) : YAMAMOTO HIDEKAZU.

⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) : CABINET PLASSERAUD.

⑤④ PROCÉDE POUR FABRIQUER UNE TRANCHE DE SILICIUM ET TRANCHE DE SILICIUM FABRIQUEE PAR CE  
PROCÉDE.

⑤⑦ Pour former une tranche de silicium de structure sili-  
cium sur isolant qui ne présente pas de défauts de surface  
dûs au polissage chimio-mécanique, on implante initiale-  
ment des ions d'hydrogène dans la surface d'une tranche  
de silicium sur laquelle est formée une pellicule d'oxyde de  
silicium (2). Ensuite, on fixe un substrat (5) sur cette surface  
et on chauffe la tranche pour décoller la couche de surface  
du silicium au niveau de la couche implantée avec de l'hy-  
drogène. On recuit ensuite la tranche de silicium dans une  
atmosphère d'hydrogène pour aplanir la surface (6) qui a  
été mise à nu par le décollement.



FR 2 761 526 - A1



PROCEDE POUR FABRIQUER UNE TRANCHE DE SILICIUM  
ET TRANCHE DE SILICIUM FABRIQUEE PAR CE PROCEDE

La présente invention concerne un procédé pour fabriquer une tranche de silicium de structure SOI (silicium sur isolant) qui contribue  
5 considérablement à l'obtention de dispositifs à semiconducteurs fortement intégrés que l'on peut faire fonctionner à des vitesses élevées avec une faible consommation de puissance.

Plusieurs procédés ont été proposés pour fabriquer des tranches SOI. Le plus prometteur d'entre eux est le procédé appelé Smart-Cut (voir Electronics Letters, 31 (1995), 1201).  
10

Dans le procédé Smart-Cut, on chauffe une tranche de silicium pour former sur elle une pellicule d'oxyde de silicium. On effectue ensuite une implantation d'ions d'hydrogène à travers la surface de la tranche de silicium, pour former ainsi une couche implantée avec de l'hydrogène. On  
15 fixe ensuite une tranche de base sur la face de la tranche de silicium qui est proche de la couche implantée avec de l'hydrogène. On chauffe ensuite les deux tranches de silicium assemblées, grâce à quoi la surface de la tranche de silicium se sépare au niveau de la couche implantée avec de l'hydrogène, en donnant une couche mince de silicium fixée sur  
20 la tranche de base (substrat). La couche mince de silicium a de minuscules irrégularités de surface que l'on aplanit par polissage chimio-mécanique, pour donner la tranche SOI désirée.

Il a été signalé récemment que le polissage chimio-mécanique affecte considérablement les propriétés caractéristiques et les rendements de fabrication de dispositifs à semiconducteurs. (Voir la communication de H. Yamamoto et al., Proceeding of The 2nd International Symposium on Advanced Science and Technology of Silicon Materials (1996),  
25 page 425).

Des problèmes avec un polissage défectueux de tranches de silicium sont également inévitables dans les tranches de structure SOI qui sont produites par le procédé Smart-Cut mentionné ci-dessus, et ils affectent défavorablement les propriétés caractéristiques et les rendements de fabrication de dispositifs à semiconducteurs.

Un but de la présente invention est de résoudre les problèmes mentionnés ci-dessus qui sont associés à la technologie classique, et de procurer une tranche de semiconducteur ayant une structure SOI qui soit exempte de défauts de surface.

Conformément à un aspect de la présente invention, dans un procédé pour fabriquer une tranche de silicium, on implante des ions d'hydrogène à travers une surface principale d'une tranche de silicium sur laquelle est formée une pellicule d'oxyde de silicium, pour former une couche implantée avec de l'hydrogène. On fixe ensuite un substrat sur cette surface de la tranche de silicium. On chauffe ensuite la tranche de silicium, ce qui provoque un décollement de ce côté de surface au niveau de la couche implantée avec de l'hydrogène. Ensuite, on recuit dans une atmosphère d'hydrogène la partie de la tranche de silicium qui est fixée sur le substrat, pour aplanir ainsi la surface de la tranche qui est mise à nu par décollement.

Dans le procédé pour fabriquer une tranche de silicium, l'opération de recuit est accomplie de préférence par chauffage à une température d'environ 1050°C à environ 1350°C. Selon une variante, l'opération de recuit est accomplie de préférence à l'aide d'un plasma dans une atmosphère d'hydrogène.

Selon un autre aspect de la présente invention, dans le procédé de fabrication d'une tranche de silicium, l'opération de recuit est accomplie de préférence par recuit thermique rapide.

Dans le procédé de fabrication d'une tranche de silicium, l'opération de recuit est accomplie de préférence après polissage chimio-mécanique de la surface qui est mise à nu par décollement.

Selon un autre aspect de la présente invention, dans un procédé pour fabriquer une tranche de silicium, on implante des ions d'hydrogène à travers une surface d'une tranche de silicium sur laquelle est formée une pellicule d'oxyde de silicium, pour former ainsi une couche im-

plantée avec de l'hydrogène. On fixe ensuite un substrat sur cette surface de la tranche de silicium. On chauffe ensuite la tranche de silicium pour décoller ainsi ce côté de la surface au niveau de la couche implantée avec de l'hydrogène. On effectue ensuite une croissance épitaxiale de silicium sur la surface de la tranche qui est mise à nu par le décoller-  
5 ment, pour former ainsi sur elle une nouvelle surface lisse.

Dans le procédé de fabrication d'une tranche de silicium, la croissance épitaxiale de silicium est de préférence accomplie dans du trichlorosilane ( $\text{SiHCl}_3$ ), du dichlorosilane ( $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ ), du monochlorosilane  
10 ( $\text{SiH}_3\text{Cl}$ ) ou du monosilane ( $\text{SiH}_4$ ), à environ  $800^\circ\text{C}$  ou au-dessus.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention seront mieux compris à la lecture de la description qui va suivre de modes de réalisation, donnés à titre d'exemples non limitatifs. La suite de la description se réfère aux dessins annexés, dans lesquels :

15 Les figures 1(a) à 1(f) sont des coupes schématiques montrant le procédé de fabrication d'une tranche SOI conforme au premier mode de réalisation de la présente invention.

La figure 2 montre un four de recuit pour recuire une tranche de silicium dans une atmosphère d'hydrogène.

20 Les figures 3(a) à 3(c) montrent le processus de réarrangement d'atomes de silicium à la surface d'une tranche de silicium.

La figure 4 montre un appareil de recuit rapide pour recuire une tranche de silicium de structure SOI conforme à un second mode de réalisation de la présente invention.

25 La figure 5 montre un appareil de recuit par plasma pour recuire une tranche de silicium de structure SOI, conforme à un troisième mode de réalisation de la présente invention.

La figure 6 montre un appareil pour un système de croissance épitaxiale pour une tranche de silicium de structure SOI, conforme à un  
30 quatrième mode de réalisation de la présente invention.

La figure 7 montre une coupe d'une tranche de silicium de structure SOI conforme à un quatrième mode de réalisation de la présente invention.

#### Premier mode de réalisation

35 La tranche SOI conforme à la présente invention est produite

par les étapes qui sont illustrées par des coupes schématiques sur les figures 1(a) à 1(f).

Le procédé commence par la préparation d'une tranche de silicium 1 qui est représentée sur la figure 1(a). On effectue une oxydation thermique de la tranche de silicium 1 pour former une pellicule d'oxyde de silicium 2, comme représenté sur la figure 1(b). On implante des ions d'hydrogène ( $2 \times 10^{16}$  à  $1 \times 10^{17}$  atomes/cm<sup>2</sup>) dans une surface de la tranche de silicium, pour former une couche implantée avec de l'hydrogène, 4, comme représenté sur la figure 1(c). On fixe une seconde tranche de silicium 5 (à titre de tranche de base) ou n'importe quel autre substrat 5 approprié, sur la surface de la tranche de silicium 1 dans laquelle l'implantation d'hydrogène a été effectuée, comme représenté sur la figure 1(d).

On chauffe la tranche de silicium 1 à une température d'environ 400°C à environ 600°C, de façon que sa couche extérieure se décolle au niveau de la couche implantée avec de l'hydrogène, 4, comme représenté sur la figure 1(e), ce qui donne une tranche de silicium 7 ayant une structure SOI comprenant un substrat 5 et une couche mince de silicium 6 fixée sur ce substrat. On aplatit la couche mince de silicium 6 par polissage chimio-mécanique, pour faire disparaître ses irrégularités de surface d'environ 20 nm, comme représenté sur la figure 1(f).

Les étapes mentionnées ci-dessus sont les mêmes que celles du procédé Smart-Cut.

On recuit la tranche de silicium 7 dans une atmosphère d'hydrogène en utilisant un four de recuit, comme représenté sur la figure 2. Des tranches de silicium 7 à recuire sont maintenues par un porte-tranches 8 qui est placé dans une enceinte de four 9. L'enceinte de four 9 a une entrée d'hydrogène à sa partie supérieure et une sortie à sa partie inférieure.

En utilisant ce four de recuit, on recuit la tranche de silicium 7 au stade de la figure 1(e), dans une atmosphère d'hydrogène, à une température d'environ 1050°C à environ 1350°C, pendant quelques dizaines de secondes à quelques dizaines de minutes. Le recuit donne la tranche de silicium 7 ayant une surface lisse, comme représenté sur la figure 1(f). La température de recuit doit être dans la plage d'environ 1050°C à envi-

ron 1350°C pour avoir un traitement stable, une meilleure capacité de traitement et une meilleure qualité de tranche. Un recuit à des températures inférieures à environ 1050°C prendra une longue durée, et un recuit à des températures supérieures à environ 1350°C fera fondre le silicium.

5 L'accomplissement d'une opération de recuit dans une atmosphère d'hydrogène aplanit la surface de la tranche de silicium par le réarrangement d'atomes de silicium dans la surface, qui est illustré schématiquement sur la figure 3. La figure 3(a) est une coupe schématique agrandie de la surface de silicium avant le recuit. Le chauffage dans une  
10 atmosphère d'hydrogène active la surface du silicium, comme représenté sur la figure 3(b). Les atomes de silicium activés se déplacent dans la surface jusqu'à ce qu'ils deviennent stables, au point de vue énergétique, ce qui donne la surface lisse qui est représentée sur la figure 3(c).

Le recuit après le stade de la figure 1(e) donne une tranche de  
15 silicium qui est exempte de l'effet nuisible du polissage chimio-mécanique.

Selon une variante, la tranche de silicium au stade de la figure 1(e) peut subir préalablement un polissage chimio-mécanique facultatif jusqu'à un degré approprié. Ce polissage chimio-mécanique simplifie et  
20 accélère le recuit dans une atmosphère d'hydrogène. La tranche de silicium résultante est exempte de l'effet nuisible du polissage chimio-mécanique.

#### Second mode de réalisation

Conformément à ce mode de réalisation, on fabrique une tran-  
25 che de silicium de structure SOI en utilisant un appareil de recuit rapide qui est représenté sur la figure 4. L'appareil de recuit comprend un susceptible 10 destiné à supporter la tranche de silicium 7 à recuire, une chambre transparente 11 et des lampes de chauffage par infrarouge 12. La chambre 11 a une entrée d'hydrogène du côté gauche et une sortie du  
30 côté droit.

Contrairement à l'opération par lot dans le premier mode de réalisation, le recuit dans ce mode de réalisation permet un traitement portant sur une seule tranche, par un recuit thermique rapide dans lequel la tranche de silicium est irradiée avec des rayons calorifiques pendant  
35 une courte durée. La source de rayons calorifiques peut être des lampes

à halogène, des lampes à arc ou des lampes éclair au xénon. Ce recuit peut être appliqué à la tranche de silicium 7 qui est préparée dans le premier mode de réalisation. L'avantage du recuit rapide consiste en une commande de processus aisée.

5 Troisième mode de réalisation

Conformément à ce mode de réalisation, on fabrique une tranche de silicium de structure SOI en utilisant un appareil de recuit par plasma qui est représenté sur la figure 5. L'appareil de recuit comprend une paire d'électrodes 13 entre lesquelles la tranche de silicium 7 est maintenue, une chambre 14, un générateur radiofréquence 15 et un condensateur 16. L'électrode inférieure est maintenue à quelques centaines de degrés par un dispositif de chauffage (non représenté). La chambre 14 a une entrée d'hydrogène du côté gauche et une sortie du côté droit. Dans ce cas, un plasma d'hydrogène est généré par de l'énergie radiofréquence. Il est possible de générer un plasma en utilisant la résonance cyclotron d'électrons (ou ECR), ou en utilisant un faisceau de lumière. On peut appliquer ce recuit à la tranche de silicium 7 qui est préparée dans le premier mode de réalisation.

Contrairement au recuit dans les premier et second modes de réalisation, qui est accompli dans de l'hydrogène à une température élevée, le recuit dans ce mode de réalisation est accompli dans un plasma. L'avantage du recuit dans un plasma consiste en ce que la température de recuit est basse, dans une plage allant du voisinage de la température ambiante jusqu'à environ 600°C. Le recuit dans ce mode de réalisation prend moins de temps que dans le premier mode de réalisation, ce qui facilite la commande de processus et réduit la contamination.

Quatrième mode de réalisation

Conformément à ce mode de réalisation, on fabrique une tranche de silicium de structure SOI en utilisant un système de croissance épitaxiale qui est représenté sur la figure 6. Le système de croissance épitaxiale comprend un support 17 pour supporter et faire tourner la tranche de silicium 7 pour la croissance épitaxiale, une bobine radiofréquence 18 et une chambre 19. La chambre 19 a une entrée d'hydrogène au centre et des sorties sur les côtés droit et gauche.

Contrairement au premier mode de réalisation dans lequel le

décollement de la tranche est suivi par un recuit dans de l'hydrogène, ce mode de réalisation est conçu de façon à accomplir une croissance épitaxiale de silicium sur la surface résultant du décollement, qui est à nu après que la couche mince de silicium 6 a été décollée au niveau de la  
5 couche implantée avec de l'hydrogène, 4, au stade de la figure 1(e). La croissance épitaxiale de silicium forme une nouvelle surface lisse, comme représenté sur la figure 7. La croissance épitaxiale de silicium est accomplie dans du trichlorosilane ( $\text{SiHCl}_3$ ), du dichlorosilane ( $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ ), du monochlorosilane ( $\text{SiH}_3\text{Cl}$ ) ou du monosilane ( $\text{SiH}_4$ ), à environ  $800^\circ\text{C}$  ou  
10 au-dessus. La croissance épitaxiale forme une couche de silicium exempte de défauts. On peut appliquer cette croissance épitaxiale à la tranche de silicium 7 qui est préparée dans le premier mode de réalisation.

La procédure de ce mode de réalisation offre l'avantage de réduire l'effet nuisible du polissage chimio-mécanique et de permettre une  
15 commande aisée de l'épaisseur de la couche de silicium 6 de la tranche de silicium.

Comme mentionné ci-dessus, la présente invention procure une tranche de silicium ayant une structure SOI avec une couche de surface  
20 ayant des caractéristiques souhaitables, qui est exempte de l'effet nuisible du polissage chimio-mécanique.

Il va de soi que de nombreuses modifications peuvent être apportées au dispositif et au procédé décrits et représentés, sans sortir du cadre de l'invention.



### REVENDICATIONS

1. Procédé pour fabriquer une tranche de silicium (6), caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes : on implante des ions d'hydrogène à travers une surface principale d'un matériau de tranche de silicium (1) sur laquelle est formée une pellicule d'oxyde de silicium (2),  
5 pour former ainsi une couche implantée avec de l'hydrogène (4); on fixe un substrat (5) sur cette surface du matériau de tranche de silicium (1); on chauffe le matériau de tranche de silicium (1) pour provoquer ainsi le décollement du côté de la surface précitée, au niveau de la couche im-  
10 plantée avec de l'hydrogène (4); et on recuit dans une atmosphère d'hydrogène la partie (6) de la tranche de silicium qui est fixée sur le substrat (5), pour aplanir ainsi la surface de la tranche (6) qui est mise à nu par le décollement.

2. Procédé pour fabriquer une tranche de silicium (6) selon la  
15 revendication 1, caractérisé en ce que le recuit est accompli par chauffage à une température de 1050 à 1350°C.

3. Procédé pour fabriquer une tranche de silicium (6) selon la revendication 1, caractérisé en ce que le recuit est accompli à l'aide d'un plasma dans une atmosphère d'hydrogène.

20 4. Procédé pour fabriquer une tranche de silicium (6) selon la revendication 1, caractérisé en ce que le recuit est accompli par recuit thermique rapide.

5. Procédé pour fabriquer une tranche de silicium (6) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le re-  
25 cuit est accompli après un polissage chimio-mécanique de la surface qui est mise à nu par décollement

6. Tranche de silicium, caractérisée en ce qu'elle est fabriquée par le procédé qui est défini dans l'une quelconque des revendications 1 à 5.

FIG. 1

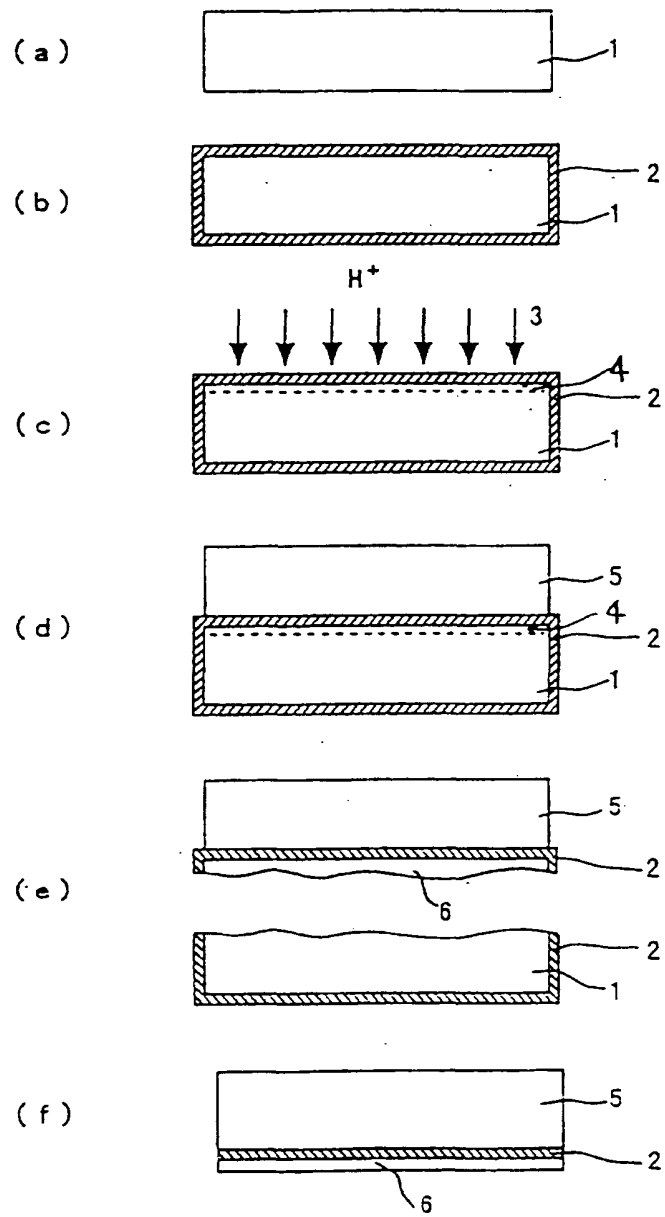


FIG.2

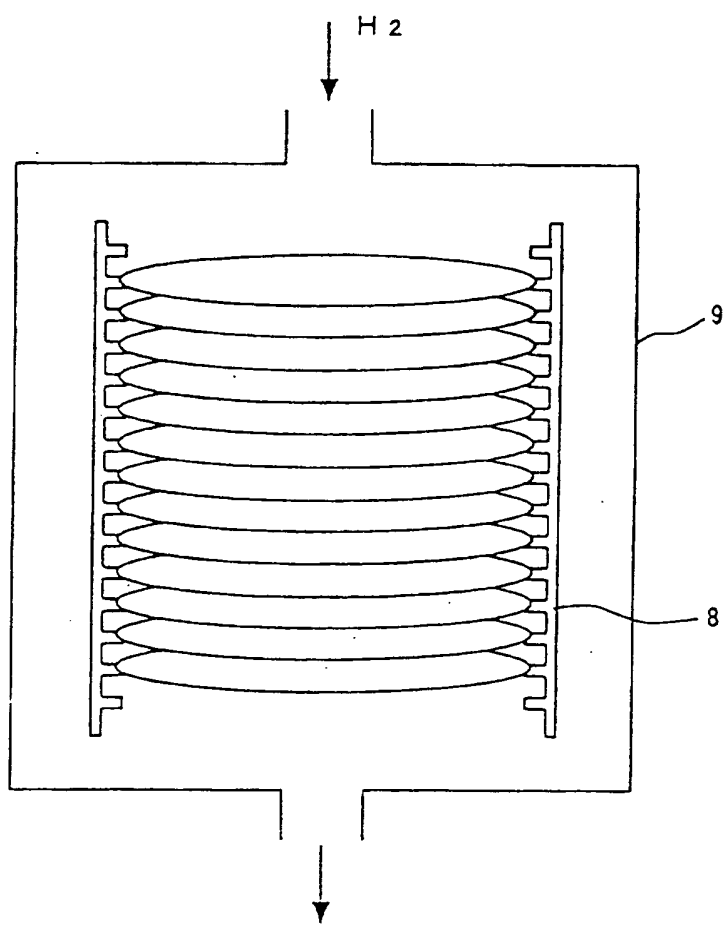


Figure 1 consists of three schematic diagrams labeled (a), (b), and (c), illustrating the Si-Si bond network. Diagram (a) shows a network of Si atoms (represented by 'Si' labels) connected by solid lines, forming a complex, interconnected structure. Diagram (b) shows the same network, but with arrows indicating the direction of the bonds, suggesting a flow or orientation. Diagram (c) shows the network with dashed lines, indicating a different configuration or state of the bonds.

FIG. 4

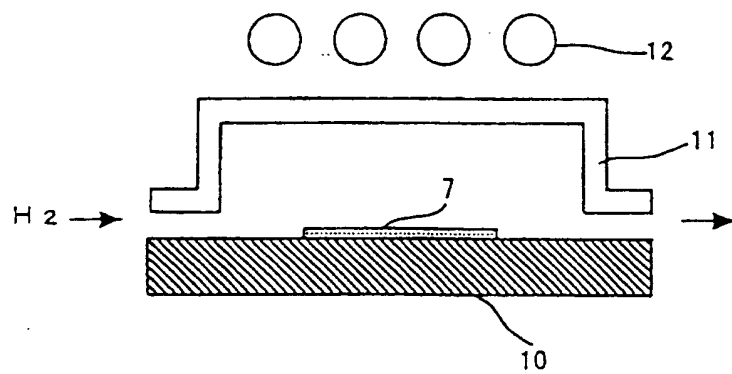


FIG. 5

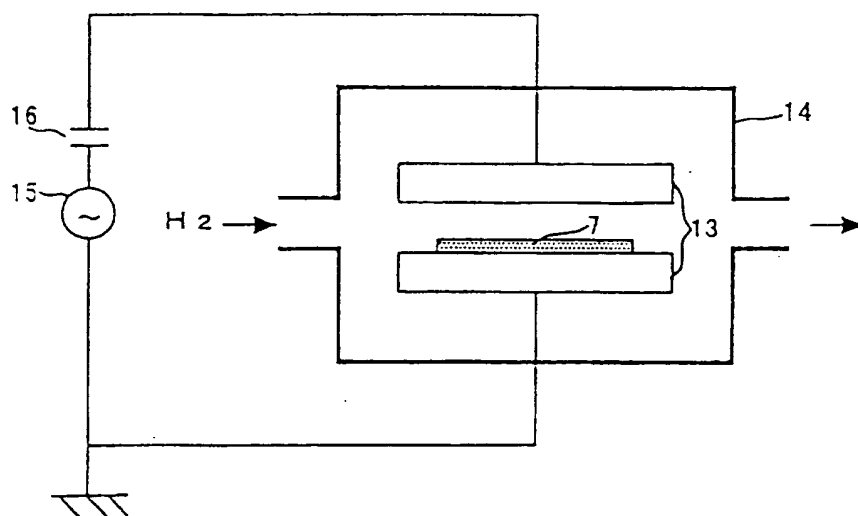


FIG.6

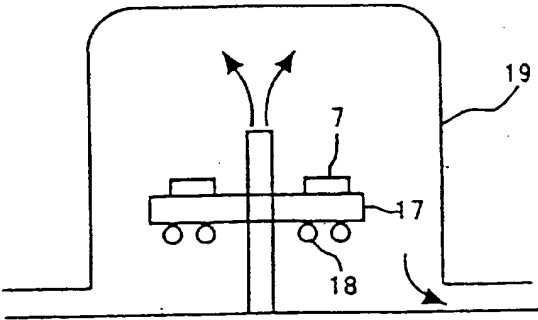


FIG.7

